

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
F16K 1/42 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200480028541.X

[43] 公开日 2007年1月10日

[11] 公开号 CN 1894524A

[22] 申请日 2004.9.29

[21] 申请号 200480028541.X

[30] 优先权

[32] 2003.9.30 [33] US [31] 10/676,469

[86] 国际申请 PCT/US2004/032108 2004.9.29

[87] 国际公布 WO2005/033561 英 2005.4.14

[85] 进入国家阶段日期 2006.3.30

[71] 申请人 SMC 株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 艾伯特·K·亨宁

迈克尔·塞尔瑟尔

布拉德福德·A·科扎德

[74] 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限责任
公司

代理人 章社杲

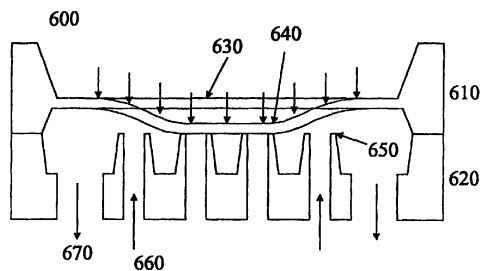
权利要求书2页 说明书12页 附图9页

[54] 发明名称

高流量微型阀

[57] 摘要

本发明披露了一种用于使具有小驱动距离的阀获得高流量的方法。提供了对硅微型阀的详细描述。描述了用于设计最优的阀的算法。



1. 一种阀，包括：

流体通道板，具有顶面和底面，具有连接所述顶面和底面的两个或多个入口以及一个或多个出口；

膜片板，具有顶面和底面，其中，所述底面附着至所述流体通道板的所述顶面，所述膜片板包括可替换膜片部分，以有选择地阻塞所述流体通道板的所述入口中的一个或多个；以及

驱动装置，用于成比例地驱动附着至所述膜片板的所述顶面的所述可替换膜片部分。

2. 根据权利要求1所述的阀，其中，所述入口的周长总和与所述入口的面积总和的平方根之比大于4。
3. 根据权利要求1所述的阀，其中，所述阀是微型机械阀。
4. 根据权利要求3所述的阀，其中，所述入口的周长总和与所述入口的面积总和的平方根之比大于4。
5. 根据权利要求3所述的阀，其中，所述膜片板由包括铝、锗、玻璃、硼硅酸玻璃、硅、和二氧化硅的组中的成分形成。
6. 根据权利要求3所述的阀，其中，所述入口的所述顶面具有尺寸小于所述入口的直径的环带，并且在所述流体通道板顶面上方延伸。
7. 根据权利要求3所述的阀，其中，所述膜片板由单晶硅形成，并且所述可替换膜片部分的厚度小于100微米。

8. 根据权利要求3所述的阀,其中,所述未驱动的可替换膜片部分位于距离所述入口的所述顶面小于100微米处。

9. 一种微机械微型阀,包括:

流体通道板,具有顶面和底面,在其顶面圆周内具有包括多个旋绕的一个或多个入口,以及连接所述顶面和底面的一个或多个出口;以及

膜片板,具有顶面和底面,其中,所述底面附着至所述流体通道板的所述顶面,所述膜片板包括可替换膜片部分,以有选择地阻塞所述流体通道板的所述入口中的一个或多个;以及

驱动装置,用于成比例地驱动附着至所述膜片板的所述顶面的所述可替换膜片部分。

10. 一种用于使阀的入口压力最小而流量最大的方法,包括以下所述步骤:

选择所述流体,以及

选择弄湿的材料,以及

从以下列表为六个变量选择操作值,所述列表包括:

流量、温度、入口压力、出口压力、入口包围的面积、入口的周长、以及在满量程流量时所述可替换膜片和所述入口的顶面之间的间隔;以及

通过使用高流量周长算法计算第七个变量的值。

高流量微型阀

技术领域

本发明涉及微机械微型阀领域，并且更具体地涉及用于控制高流量流体的微型阀。

背景技术

表面上，“微型阀”的概念不能用于工业处理流体分配和控制中的高流量应用。半导体处理过程中的质量流量控制器（MFC）要求气体流量达到 50 标准升/分钟（slm）。并且，气体或者液体色谱仪器要求类似类型的流量。冰箱要求液体流量达到 12 立方厘米/分钟（ccm），大约相当于 12slm 的气体流量。在汽车发动机中的管道气体流量应用也要求高气体流量以优化车辆马达效率和功率。对高纯度流体的控制、比例流量控制的要求以及对快速响应的要求，造成了微型阀在这样的高流量应用中使用的附加障碍。

U.S.4,538,642[1]和 U.S.4,585,209[2]披露了在小型阀的入口和/或阀座中的孔阵列。对着阵列的隔膜板或悬臂的静电驱动使流导通和关闭。从此设计中很清楚地看出，在阀座中的孔阵列用于为隔膜板或悬臂提供机械支承，并且生成用于打开和关闭的静电力。（642）和（209）都没有描述通过多个孔的流量的益处。

U.S.5,333,831[3]披露了提高微型阀中的阀座的边缘以减小流过微型阀的阻力。该发明披露了具有单一入口和出口的微型阀的使用。

Zdeblick[4]披露了使用热力气动驱动的微型阀的基本性能和技术。U.S.4,966,646 被结合于此作为参考。

Richter[5]描述了具有阀瓣的微型阀，阀瓣驱动构成阀座的多个阀开口。所披露的结构包括许多不同的出口通道设计和开口设计；一种设计包括[3]的描述，关于提高阀座边缘以最小化通过该结构的流阻。流量被定性地描述为与多个阀开口和到阀瓣的距离成比例。Richter 发明是打开或关闭的双位（two-positioned）阀；没有比例控制。并且，如除了 Zdeblick 的发明之外的前面的发明，流向是垂直的或横向的，通过“刚性”隔膜板并且通过阀座的平面流出。

Wang[6]描述了一种“数量级”微型阀流动模型，其中，流量与隔膜板上的刚性突出部和阀座之间的间隙线性成比例。因而，该模型没有解释当间隙与管口（orifice）的阀座直径相比较大的时的流量。流量的有效面积被定量地给定为四个管口边的总和与间隙距离的乘积。Wang 试图将理想声速流量方程的简化形式用于可压缩气体。

U.S.6,129,331[7]披露了具有与凸起的阀座相对的可变形膜片的微型阀。“可变形”在此意味着膜片不必是平的，而是可以具有由膜片的厚度以及支承该膜片的框架的边缘结构限定的曲率。本参考也描述了一种表面安装的微型阀。即，不同于以上提及的微型阀，流通过单一平面进入和流出微型阀，该平面也是在微型阀和其支撑外壳（package）或集气管之间的附着平面。这种表面安装方案将被控制的流体弄湿的材料限定为阀材料、附着材料、和管道材料。U.S.6,129,331 被结合于此作为参考。

Van der Wijngaart[8]披露了微型阀流量的有限元素模拟。研究了各种阀座拓扑结构。每个阀座拓扑结构均被设计成方形管口阵列，有些具有凸起的边缘。一种复杂的隔膜板，具有入口孔以允许

流通过隔膜板，隔膜板朝着阀座阵列均匀地升高或远离阀座阵列均匀地降低。即，隔膜板是不可变形的。一种可选设计使流从侧面进入，并且隔膜板上的升高突出部用于密封阀座。Van der Wijngaart 认识到随着隔膜板或突出部接近阀座，通过阀座的管口的流量变成由突出部的周长和间隙限定的面积函数 z 。当突出部远离半径 r 的管口超过 $r/2$ 时，管口面积变成在确定流量中的关键参数。Van der Wijngaart 集中在短冲程阀，远远小于 $50\ \mu\text{m}$ 。其设法解决达到比可以由其半径是冲程的一半的管口支撑的更大流量的问题。Van der Wijngaart 的解决办法是制造多个所允许的最大直径的管口，同时仍在“阀座”控制区或 $r/2$ 内。其在任何地方都没有提到管口周长的重要性。

在现有技术中，所有微型阀的流量均被限制在 $5\ \text{slm}$ 或更少。从而需要能够达到更高流量的微型阀。

发明内容

由于响应时间主要是必须穿过膜片板到座之间的间隙的函数，在不同同时考虑微型阀响应时间的情况下，不能优化通过微型阀的流量。说明微型阀座周长的作用的流量模型有助于阐明对于同时发生输送高流量和快速响应问题的未预料到的和不明显的解决办法。

另外，如果隔膜板是平的并且是不可变形的，则要求大动态范围和高流量分辨率的高流量 MFC 需要隔膜板位置相对于阀座阵列的难以达到的大分辨率。只有驱动面是可变形的（例如在膜片中），高绝对流量、宽动态范围、和高流量分辨率的要求才可以同时满足。正如此处所描述和使用的，术语“隔膜板”将被用于不可变形的板，其在平面内上下移动以限制或者允许流通过阀座中的开口。术语“膜片”将被用于具有可变形的部分的结构，当可变形部分朝着阀座被驱动时，其呈现椭圆或环形的形状。在第一次接触时膜片开始

变平，当其达到完全驱动和完全关闭时，逐渐地覆盖越来越多的阀座开口。

例如，考虑设计成流过 5 slm 或 5000 sccm 氮气的基于压力的 MFC，其中，在流量传感器中的关键管口以 15 psia 输送 5 slm 的流量。对于设置点的 50: 1 的动态范围，要求 MFC 将流分辨 (resolve) 到设置点的 1% 以内。即，如果设置点 (setpoint) 是满量程的 2%，或者 100 sccm 正在流动，则 MFC 必须分辨此值的 1%，或 1 sccm。比较使用刚性隔膜板时的要求与使用可变形膜片时的要求。使用参考 [10] 的流量模型，由 23 个孔 (每个孔的直径为 $500\ \mu\text{m}$) 组成的阀座阵列将在 15 psia 的入口压力、298K 的温度、以及阀座阵列和膜片之间的间隙为 $15\ \mu\text{m}$ 的情况下输送 5000 sccm 的流量。为了将流量分辨到满量程流量的 100% 的设置点的 1% 内 (即，为了当流量设置点是 5000 sccm 时分辨 50 sccm)，可变形膜片位置必须被分辨到 15nm 之内，15nm 是可实现的数字。然而，为了将流分辨到满量程流量的 2% 的设置点的 1% 内 (即，为了当流量设置点是 100 sccm 时分辨 1 sccm)，刚性隔膜板的位置必须被分辨到 0.3nm 内，0.3nm 是不可实现的数字。在该最严格要求的情况下，只有可变形的膜片可以达到要求的分辨率。即，只有其间隙相对于阀座阵列是不均匀值、尤其靠近阀盖的膜片才能达到要求的分辨率。通过关闭逐渐穿过整个阵列的开口，解决达到高分辨率的困难。

大多数 MFC 以显著高于 15 psia 的阀座入口压力操作，这对隔膜板位置的分辨率要求设置了更多限制，并且使得可变形膜片更加必不可少。

以前的作者 [3, 6, 9] 没有披露在座外围的长度周围的阀座的宽度的重要作用。如果此宽度太大，那么寄生电阻效应开始起作用。这些效应在微型阀流量中引起两个可观察到的现象，其限制了微型阀的性能：第一，脆弱的或受抑止的“导通”特性，有时称作“软

导通”；第二，对于给定的一组压力和温度边界条件，减小的流量最大值。在此的工作特别地披露了该座宽度的基本方面，并且其必须被最小化。

因此，该发明是不明显的，但是尽管如此，本领域技术人员将会理解。特别地，披露了一种高流量、成比例的微型阀，其中，使用具有阀座周长与横截面流动区域的较大比率的阀座结构来达到高流量。同时，通过最小化膜片必须穿过的间隙以实现微型阀的最高和最低的流量状态，来保持快速响应。此外，通过相对于阀座结构来驱动可变形膜片，实现了极好的比例控制、高流量分辨率、以及宽动态范围。而且，通过使用膜片代替悬臂，并且通过使用没有穿孔而是将流从（或朝向）阀座结构引导到（远离）流出口（或入口）结构（其在相同的平面上作为阀座结构），来调节高纯度的流体。

应当注意，此处的论述描述了阀中的冲击流体。本领域技术人员很容易想到，该论述能够同样容易地描述阀中的吸入流，而没有效果或普遍性损失。

附图说明

图 1 是现有微型阀的横截面视图。朝着阀座或远离阀座驱动膜片，以关闭或开启阀，从而减小或增加通过阀的流量。箭头指示在膜片上的驱动力。膜片可以包括或不包括突出部。突出部的存在典型地被用于在驱动膜片和阀座之间保持平齐，以使阀的泄漏最小化。

图 2 是本发明的微型阀的横截面视图。阀座或者是单独的管口的阵列，或者是具有复杂的、旋绕的圆周结构的单个管口。阀座边

缘可以或不可以相对于支承阀座结构的基座凸起，以减小寄生流阻。箭头指示输入流和输出流。

图 3 是具有正弦变化半径函数（其应用于其他圆形边缘结构）的单管口阀座的平面图，其导致大的周长-面积比、以及在小膜片-座间隙情况下的高流量。示出的数字是以微米为单位的尺寸。

图 4 是具有环绕边缘结构的单管口阀座的平面图，其导致大的周长-面积比、以及在小膜片-座间隙情况下的高流量。示出的数字是以微米为单位的尺寸，除了 L 的值，其单位是毫米。

图 5 是由圆形管口的阵列组成的阀座结构的平面图，其导致大的周长-面积比、以及在小膜片-座间隙情况下的高流量。

图 6 是微型阀 600 的示意性横截面图。基本元件包括膜片 630，其对着包括管口阵列的阀座结构 650 可变形地移动 640。膜片由框架 610 支承，并且阀座结构由框架 620 支承。输入流 660 在作为输出流 670 输出之前通过阀座结构 650。当膜片和阀座结构中的一个从中心移动到边缘时，膜片变形的非均匀性质导致膜片和阀座结构之间的间隙增大。

图 7 是在正方形的薄可变形膜片和平面之间的接触的模拟平面图，其中，平面代表包括 12 个管口的阵列的阀座结构。出于对称的考虑，仅示出膜片和阀座结构的四分之一。指示的轮廓以横跨膜片压力的给定值来限定膜片和阀座结构之间的接触面积。

图 8 是本发明的优选实施例的横截面图，包括与微型阀膜片相关的驱动器。

图 9 是微型阀设计方法的流程图，其根据随后描述的高流量算法，使微型阀流量与结构参数、气体参数、以及诸如温度和压力的边界条件相关联。

变量列表

\dot{m} 质量流量 (kg/sec)

P_{in} 入口压力

P_{out} 出口压力

V 流速

ρ 气体密度

γ 比热率, c_p/c_v

$$\alpha = \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{1+\gamma} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1}}$$

R P 的气体常数 = ρRT (由分子量划分 $8314 \text{m}^2/\text{K}\cdot\text{sec}^2$)

W 微型阀阀座周长

A 由阀座外围包围的微型阀面积

D_h 微型阀入口长度参数 ($= \sqrt{A}$)

A_{eff} 微型阀有效流通面积

z 微型阀膜片-入口的间隙

r 间隙与入口长度参数的比: $r=z/D_h$

r_0 间隙与入口长度参数的比, 其根据参考[10]限定座控制的流量和过渡流量 (transition flow) 之间的边界

Φ 阀座周长与入口长度参数的比: $\Phi=W/D_h$

C_d 排出量的微型阀入口系数

C_v 流量的微型阀系数

具体实施方式

本发明披露了一种设计阀的方法, 其通过使阀座周长与线性参数的比最大来获得高流量, 其中, 线性参数等于由阀座圆周包围的面积平方根。还披露了用于给定阀座面积的优选结构。这种流量最大化同样使驱动器和阀座之间的间隙最小, 相当于希望的最大流量。因此, 这些阀设计在间隙高度被控制的状态下的假定阀操作, 其中, 间隙小于结合的阀座开口的半径的一半。然而, 正如阀流量模型所显示的, 不能一直保持这种标准情况。还必须考虑管口控制的流量。从间隙控制的流量到管口控制的流量的过渡 (transition) 是阀的实际设计参数的函数, 使得以下给出的整个流量模型必不可少。

通过使用用于在阀座区域用于给定约束的流量最大, 穿过阀用于给定的一组压力边界条件的流量也被最大化。

用于根据本发明设计阀的标准压缩气体流量方程如下所示。当气体通过微型阀的最狭窄部分时，排出系数说明边界层效应。当气体通过微型阀的剩余部分时，流量系数说明与标准理论的其他偏差。

$$C_{d,submini} = C_d C_v A_{eff} \alpha(\gamma) \frac{P_m}{\sqrt{RT}}$$

$$C_{d,submini} = C_d C_v A_{eff} \delta(\gamma) \frac{P_m}{\sqrt{RT}} \left(\frac{P_{out}}{P_m} \right)^{\frac{\gamma+1}{2\gamma}} \sqrt{\left(\frac{P_m}{P_{out}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}$$

为了描述微型阀流量，标准方程作如下修改。

$$A_{eff} = W_z = W D_h r \quad \text{其中} \left(0 < \frac{z}{D_h} < r_0 \right)$$

$$A_{eff} = W D_h r_0 + (A - W D_h r_0) \left[1 - \exp\left(-\frac{r-r_0}{\eta}\right) \right] \quad \text{其中} \left(r_0 < \frac{z}{D_h} \right)$$

$$A_{eff} = A \quad \text{其中} \left(\frac{z}{D_h} \gg 1 \right)$$

这些方程首先描述了流量与阀入口和出口压力之间的关系；其次，描述了在用于阀的有效流量面积和膜片-座间隙的值和阀座之间的关系。全部解释可以在参考[9]中找到，其结合于此作为参考。（也可以描述用于液体流量的方程。它们在流量和阀入口和出口压力之间具有不同的关系，但是关于有效面积保持上述关系。）

作为一个实例，10个环形阀座的阵列，每个阀座具有500 μm的直径，则阵列将具有π*500*10 μm的周长W，10*π*(500)²/4的面积A，以及入口长度参数D_h=√A = 1400 μm。比率φ是11.2。

在该模型的环境中，参数 r_0 是经验拟合参数。对于阀座直径在 0.085mm 到 2.0mm 之间的微型阀，经验证据显示 $0.13 < r_0 < 0.17$ 。应当注意，因为有效面积函数和它们的一阶导数的连续性，这是该模型中唯一的自由参数。对于给定的阀和集气管设计，通过将理论结果调整到实际结果来确定 r_0 。

这些方程使得多种类型的设计能够最优化。例如，给定压力和流量边界条件的规格，使用该模型能够生成一个函数，其使作为自变量的膜片至座的间隙与作为因变量的阀座周长相关联。基于在阀驱动器中的速度或功率消耗的要求，可以做出间隙的选择。然后所得到的周长被执行作为仅使用具有环绕圆周的单个管口的阀座设计，或作为相同管口阵列，该管口可以是正方形的、环形的、或任意形状。

可选地，由周长和最大膜片到座的偏移限定的给定阀座结构导致函数的生成，该函数使阀入口和出口压力与流量相关联。

值得注意的是，虽然本发明表面上涉及微型阀，但是它实际上能够通用于任何尺寸的阀结构。因此，应用超出了通常与微型阀相关的应用，包括工业应用，诸如在炉或燃烧器或汽流中的天然气的控制。

所披露的微型阀的优选实施例是图 8 所示的阀结构 800。阀被附着至集气管 (manifold) 880。阀由玻璃层 890、具有支承结构 810 的硅膜片 830、以及硅阀座结构 850 组成。阀座结构 850 由环形管口阵列组成，其使用微机械技术用硅制成。还描述了输入流 860 和输出流 870。每个管口的直径大约是 $450 \mu\text{m}$ ，但是可以在 $50 \mu\text{m}$ 和 1.5mm 之间变化。较低流 (lower flow) 可以用较小直径的管口和较小的阀来控制。使用比在优选实施例中描述的更大的膜片面积容纳更大直径。这种附加范围被认为是本发明的一部分；本领域技

术人员将理解怎样按比例增加或减小现有尺寸。阵列中的管口的中心到中心的间距大约是 $625\ \mu\text{m}$ 。每个管口的座的外围宽度大约是 $50\ \mu\text{m}$ 。阀座阵列中的管口数量最小为 2 最大为 25，与优选的驱动器膜片的变形特性一致。然而，对于更小的管口直径，阵列中的管口数量能够显著地增加，并且仍然在此膜片的范围内。如同较大直径管口一样，通过增加驱动器膜片的面积，可以容纳阵列中的更大数量的管口。

为了使寄生流阻最小，单个管口具有座表面，该座表面在支承阀座阵列的结构的平面上方大约 $100\ \mu\text{m}$ 处。此高度可以大于或小于 $100\ \mu\text{m}$ 。实际上，为了获得较高的分辨率，以寄生流阻（其将限制通过给定设计结构的流量的最大值）为代价，可以利用完全平的板。

阀座阵列的支承结构还包括流的输出孔。如果管口阵列从入口改变至输出方位，那么这些输出孔变成输入孔。它们被设置成沿着支承结构的边缘的狭缝，或者被设置成相对于阵列对称放置的一个或多个孔。该流量模型甚至在逆流的情况下仍然适用。

本实施例中的驱动阀座阵列的膜片还优选地用硅通过微机械加工。它是平的柔性板，大约 4 平方毫米，并且大约 $50\ \mu\text{m}$ 厚。此膜片不包括穿孔，这是由于它在微型阀中的使用便于“表面安装”微型阀，其中，流通过相同的平面输入和输出阀座阵列以及其支承结构。缺少穿孔还使得微型阀适于使用流体，其要求与最少的不同材料关联，并且与有限材料的集合关联。特别地，用于在半导体器件的制造中使用的高纯度流体的控制和分配的 MFC 具有这种严格的要求。如在用于接触阀座阵列的[6]中，膜片也不具有复杂的结构，由于这些结构将增加厚度波动，其将消除本发明的优选实施例的膜片的可变形性质。

在膜片和阀座阵列之间的最大间隙,以及阀座周长、流体类型、温度、和压力边界条件一起来确定通过微型阀的质量流量的比率。在优选实施例中,对于高流量微型阀,间隙的值在 $5\mu\text{m}$ 和 $50\mu\text{m}$ 之间。较小的间隙能被实现以用于很小的流量。以更昂贵的驱动方案或其他的性能折衷为代价,也能够提供较大的间隙值。

可以经由不存在通过膜片的穿孔的装置来驱动膜片。气动驱动和热力气动驱动最理想地适于这种结构,因为它们给膜片的致动器侧提供等压力。诸如压电的、形状记忆合金、或双金属的其它驱动方法同样是可选的。

可选地,如图3和图4所示,可以采用具有正弦曲线或旋绕圆周的管口结构。旋绕结构(convoluted structure)导致在给定总面积(将被膜片覆盖)内更有效地增加周长。旋绕的阀座结构具有比正弦曲线阀座结构更高的周长-面积比。

设计微型阀的方法与在参考[10]中描述的高流量算法密切相关。这些方法在图9和图10中描述。本方法的最显著的方面在于可以选择两种方法中的一种。在第一种方法中,选择流体以及温度和压力边界条件。然后,参考[10]的算法允许确定流量作为有效面积的函数,其中,有效面积本身是阀入口尺寸(面积和周长)以及在阀入口阵列中的端口的数量的函数。在第二种方法中,再次选择流体和温度。有效面积保持固定,如由入口的结构描述(面积、周长、和数量)所确定的。那么,参考[10]的算法允许流量被确定为入口和出口压力的函数。

提供本发明的上述实施例作为说明和描述。其并不将本发明限于上述精确形式。特别地,可以想到,在此所述的本发明的功能实现可以等同地用硬件、软件、固件和/或其他可用的功能部件或程序块来实施。根据以上描述,其他改变或实施例也是可以的,因此,本发明的范围并不限于该详细描述,而是由所附权利要求来限定的。

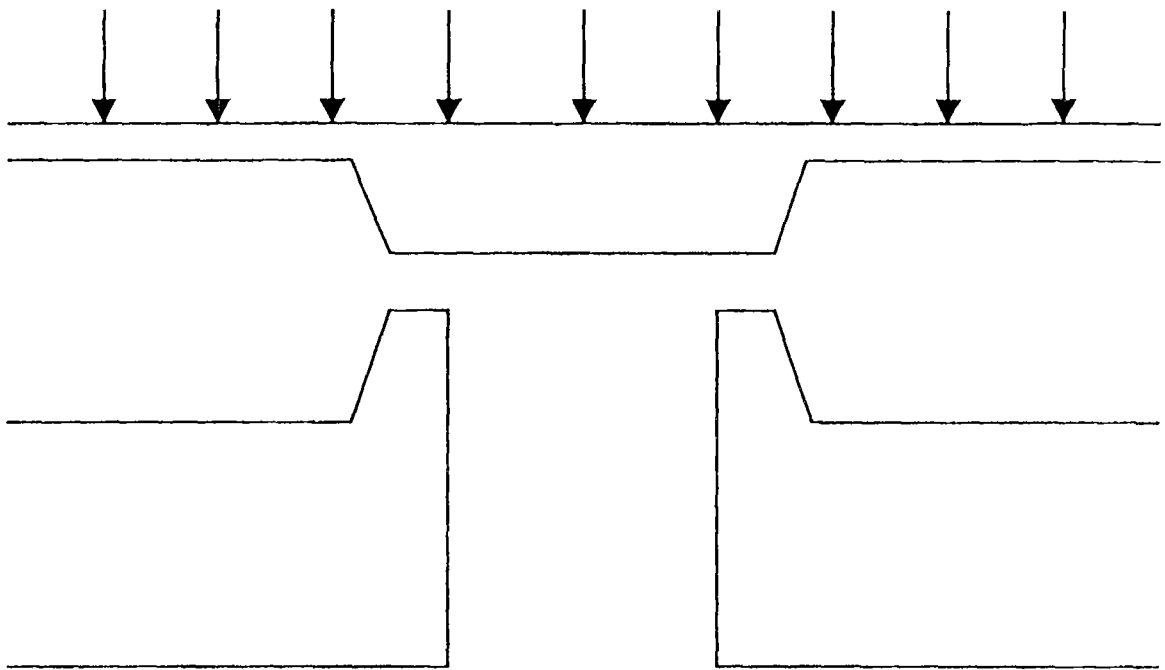


图 1

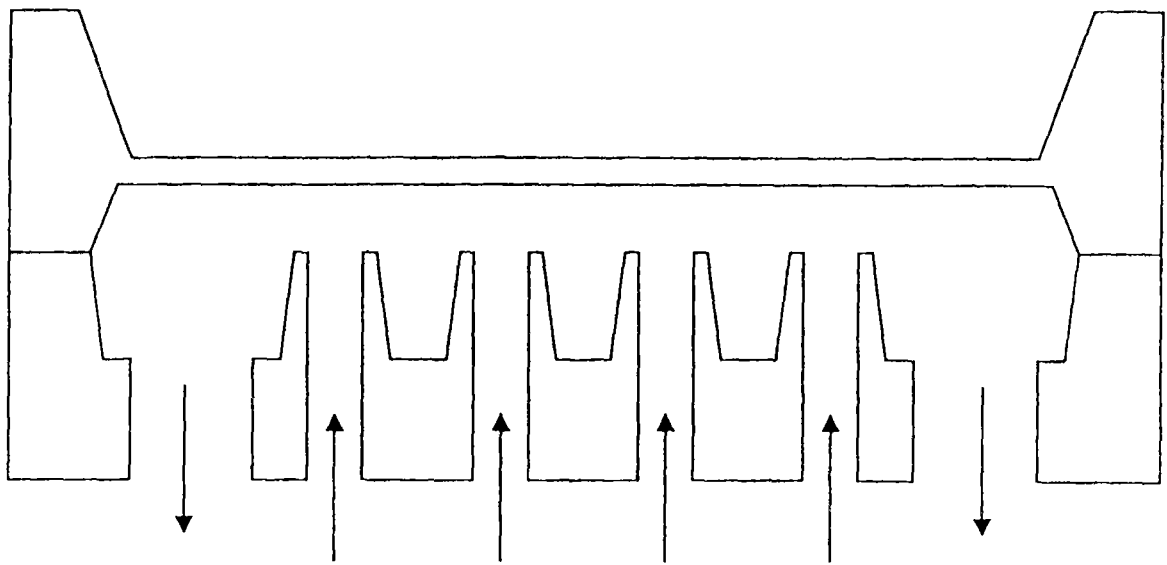


图 2

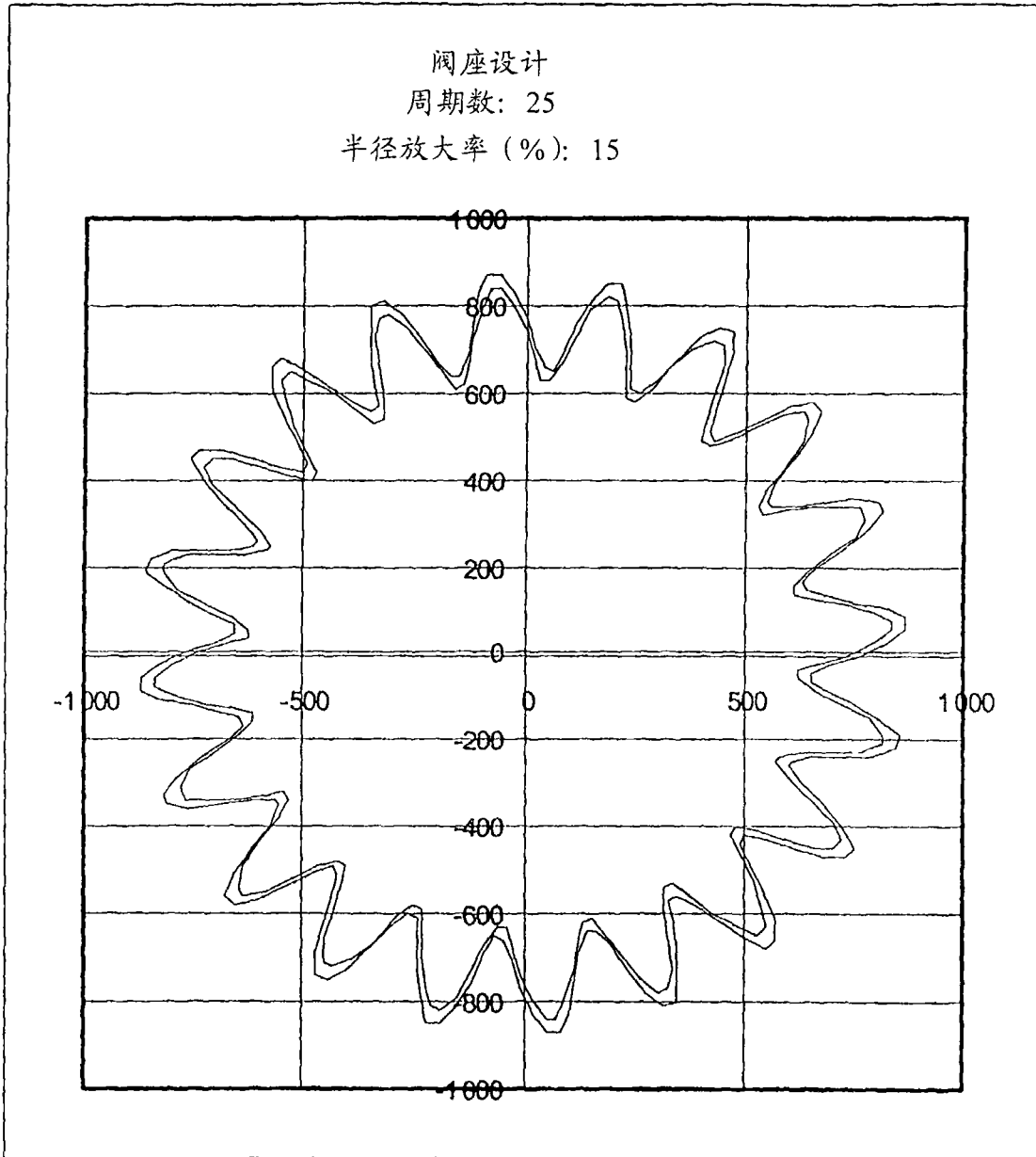


图 3

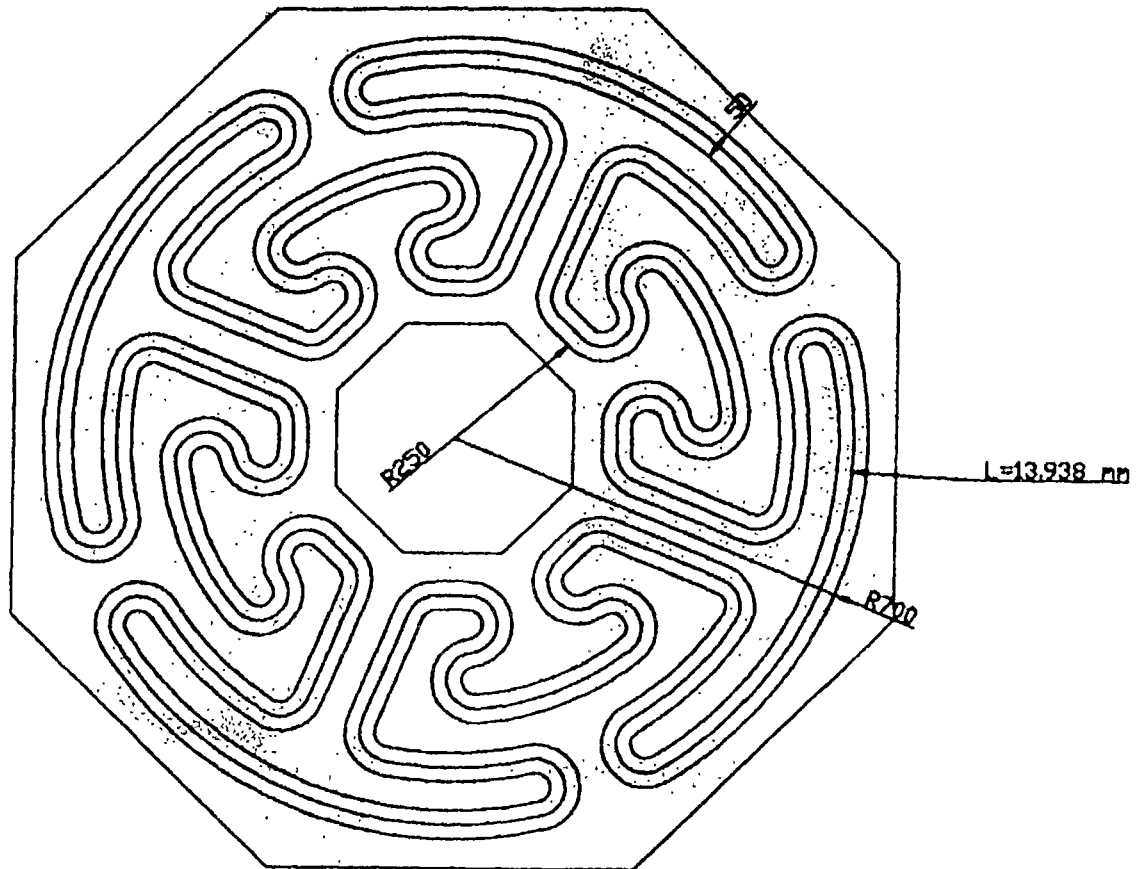


图 4

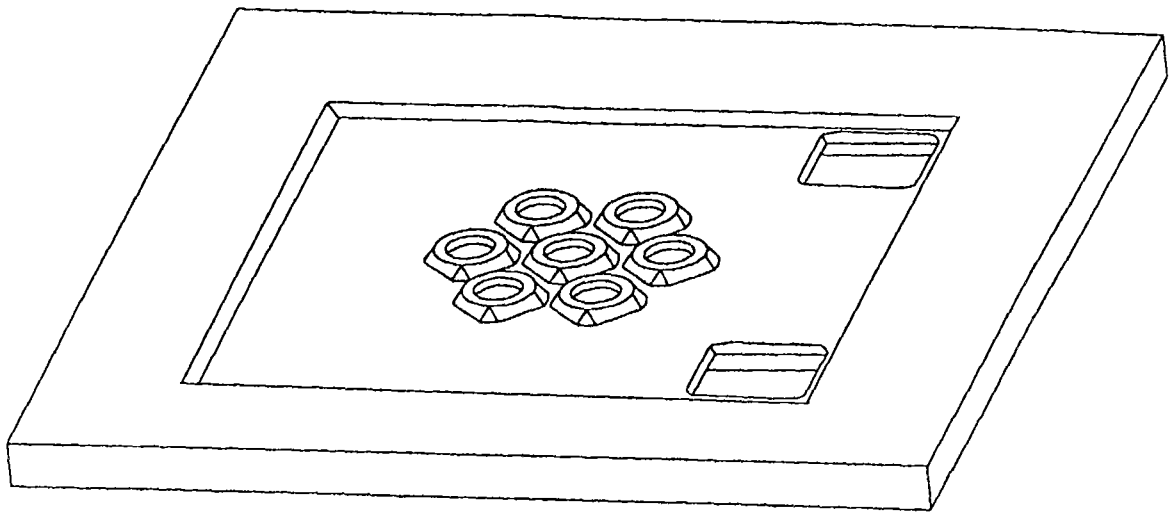


图 5

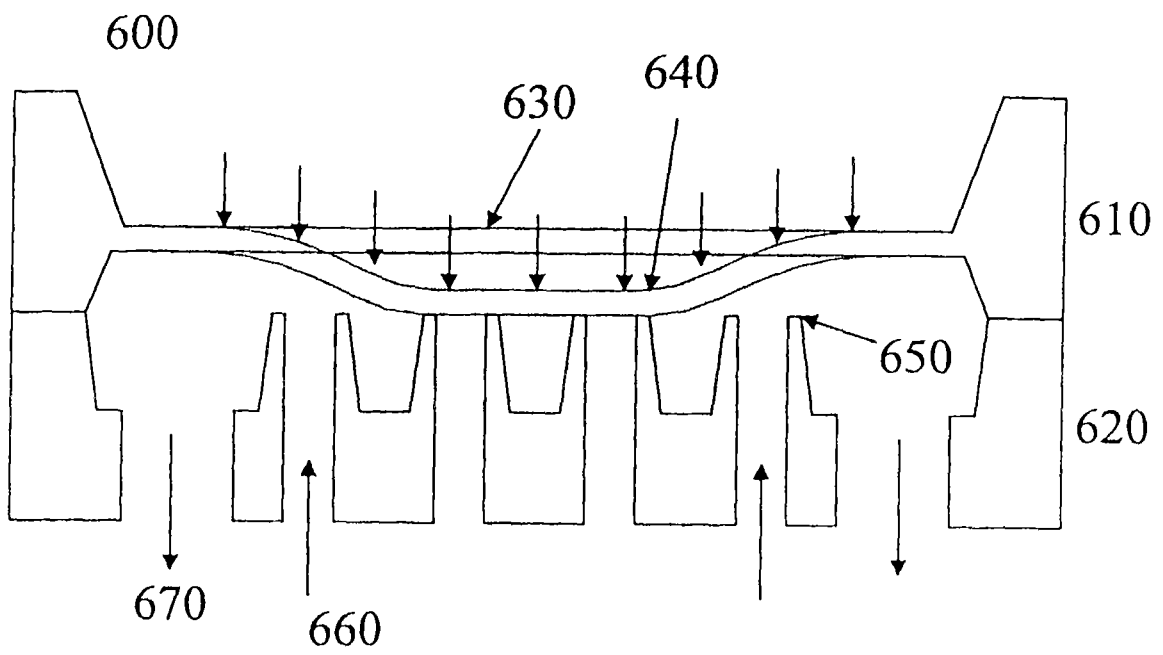


图 6

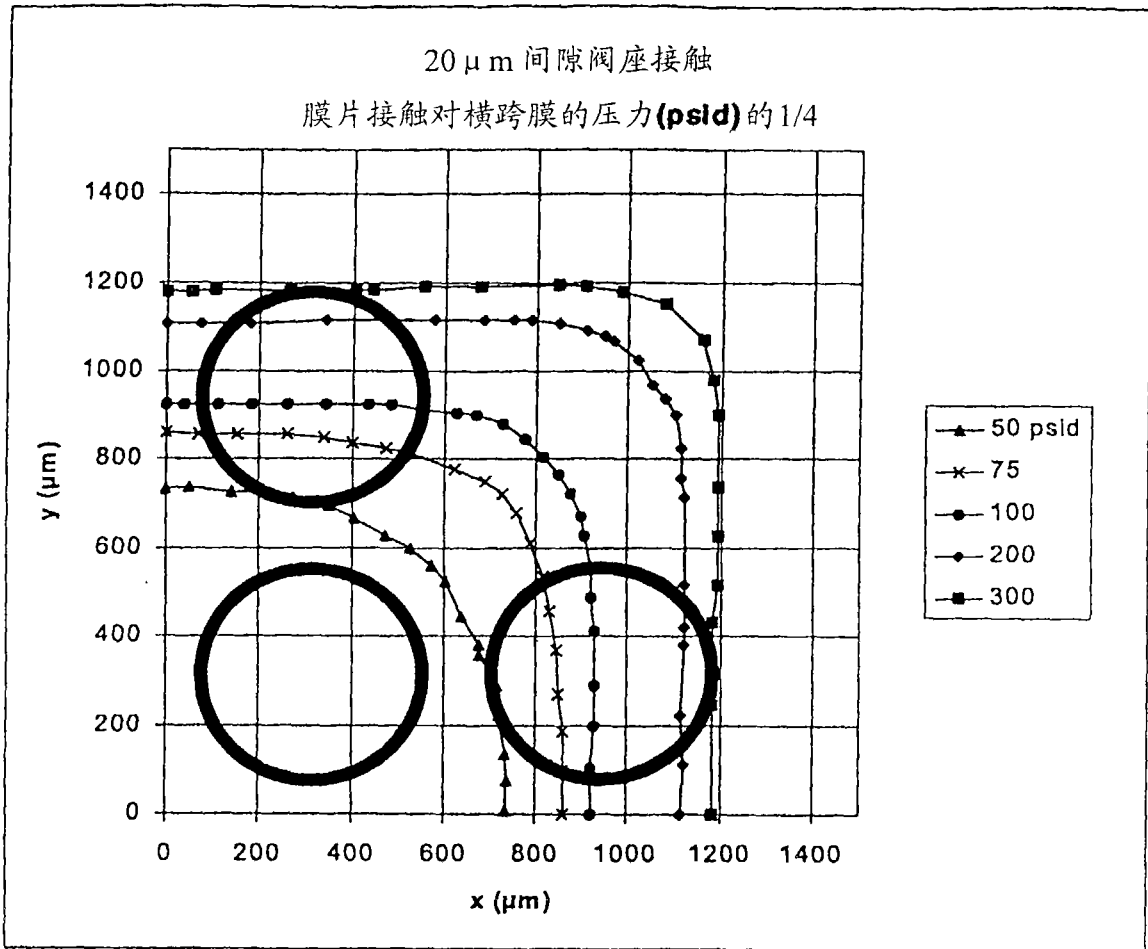


图 7

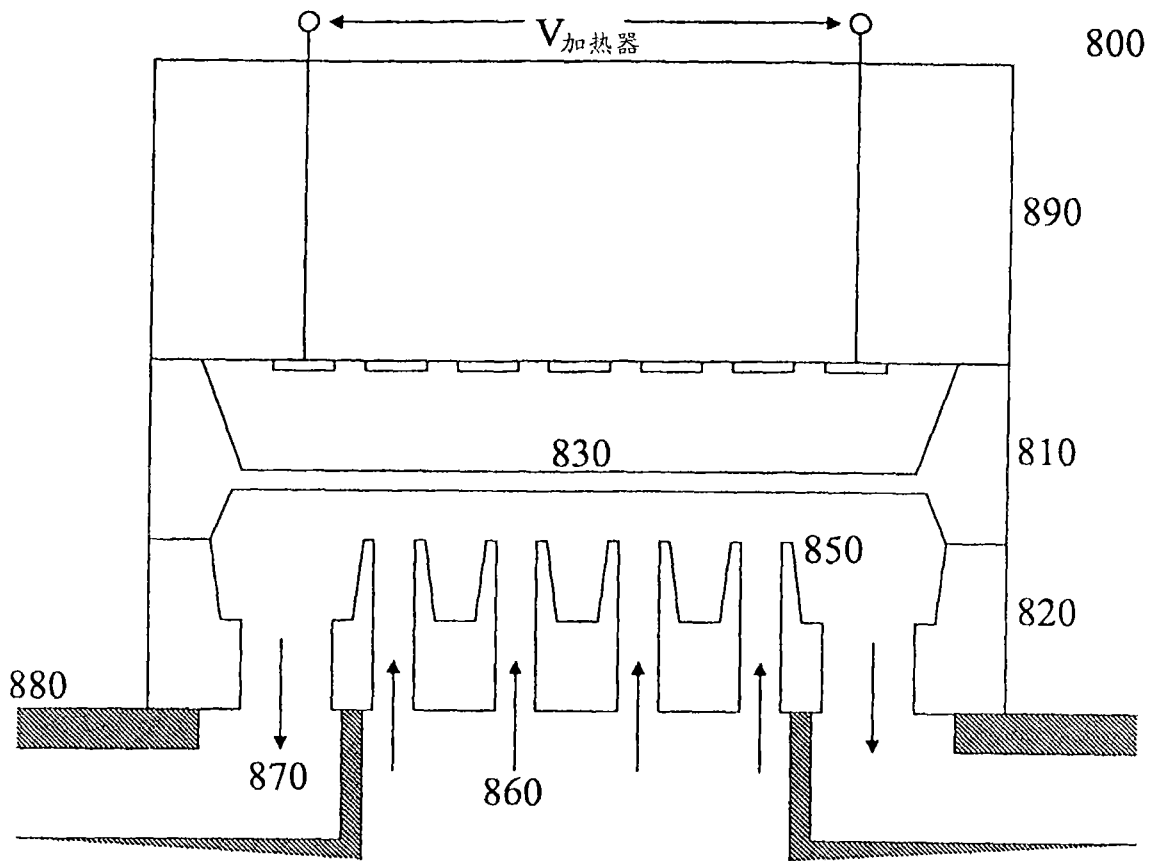


图 8

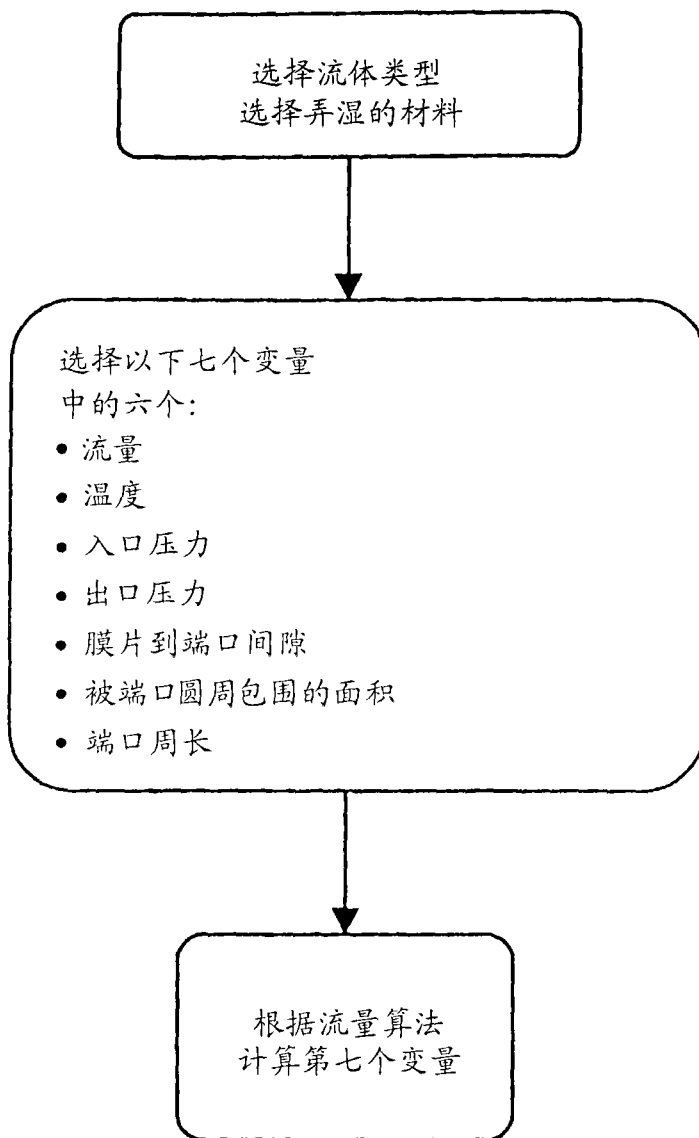


图 9